



CARACTERIZAÇÃO DA CURVA S-N DA LIGA DE TITÂNIO TI-6AL-4V ELI EM ESTADO RECOZIDO

CHARACTERIZATION OF THE STRESS-STRAIN CURVE OF THE ANNEALING TITANIUM ALLOY TI-6AL-4V ELI

Autores: Luiz Eduardo ORTIGARA; Mario WOLFART JR.

Identificação autores: Fonte de Financiamento: Instituto Federal Catarinense/Campus Luzerna, Edital 004/2018 - Curso: Engenharia Mecânica; Orientador do IFC/Campus Luzerna.

RESUMO

A liga Ti-6Al-4V ELI tem alta biocompatibilidade sendo utilizada na fabricação de próteses, utilizando tratamentos térmicos há a melhora das propriedades mecânicas, auxiliando na viabilidade de projetos. Foram feitos tratamentos térmicos de envelhecimento e caracterização microestrutural. Foi alcançado microestrutura bimodal apenas em pequenas amostras, impossibilitando maiores ensaios na liga tratada termicamente. Há a hipótese que os parâmetros de tratamento térmico da liga não são o mesmo que o indicado pela literatura, necessitando testes. Os corpos de prova foram recozidos e então registradas a tensão de escoamento e tração utilizando o ensaio de tração. O ensaio revelou propriedades mecânicas melhores que as indicadas, facilitando nos novos projetos da região.

Palavras-chave: Tratamentos térmicos; Propriedades mecânicas; Ensaio de tração.

ABSTRACT

The Ti-6Al-4V ELI alloy has high biocompatibility, being utilized in the prosthesis manufacturing, utilizing heat treatment there is the increase in the mechanical properties, assisting in the project viability. Aging heat treatments were realized in samples and the microstructures were analyzed. Tensile test was realized, registering the yield stress and the traction stress. It was only reached the bimodal microstructure in small samples, impeding the tensile test in the heat-treated alloy. There is the hypothesis the parameters of the alloy are not the same for the standard alloy, needing more tests. The tested specimens tested were annealing, revealing better mechanical properties than indicated. The new acquired properties facilitate new projects.

Keywords: Heat treatments; Mechanical properties; Tensile tests.

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O titânio tem ampla utilização no mercado de próteses devido a sua boa resistência à corrosão, alta biocompatibilidade e resistência específica (SHAHMIR E LANGDON, 2017). A liga Ti-6Al-4V ELI (extra low intersticial) é o carro-chefe do mercado de próteses, sua principal diferença é a retirada dos elementos intersticiais (oxigênio e nitrogênio), possibilitando o uso no corpo humano (VENKATESH, et al. 2009).

Atividades físicas utilizando próteses, como andar ou correr, irão gerar tensões cíclicas não-regulares e alternadas e, se não projetada adequadamente, irão fraturar

catastroficamente através da ação da fadiga de baixo ou alto ciclo na peça (AKAHORI, NIINOMI, 1998). Os fatores microestruturais e geométricos devem ser registrados empiricamente, devido a resistência à fadiga variar com os diferentes materiais e microestruturas (DIETER, 1981).

Quando em estado puro, o titânio apresenta apenas a fase com grãos α que quando aquecida, será transformada em β . A temperatura em que toda a fase α for transformada em β é o principal parâmetro no tratamento térmico do titânio, chamada de β transus (β_t). Os elementos de liga irão modificar as fases da microestrutura, estabilizadores α irão aumentar a temperatura do β_t e estabilizadores β irão diminuir a temperatura necessária para a presença de β na microestrutura, dessa forma, sendo a liga Ti-6Al-4V $\alpha+\beta$, tratamentos térmicos específicos podem ser utilizados para melhorar as propriedades mecânicas do material (DONACHIE, 2000).

O tratamento térmico de solubilização e envelhecimento resultará na microestrutura bimodal, que é a mais indicada pela sua alta resistência à fadiga. Os grãos α devem ser o menor possível, evitando a nucleação da trinca em seu interior. As fronteiras de grão impedem a propagação de trinca, entretanto devem ser controladas ao ser concentradoras de tensão e responsáveis pela nucleação de trinca. Portanto, a microestrutura deve ter grãos α menores que 5 μm e quantidade de 30 – 50 % na matriz (Wu et al. 2013), (LUTJERING, 1996).

Entretanto, a liga Ti-6Al-4V ELI possui poucos dados de ensaios empíricos. Assim, não há parâmetros de tratamentos térmicos adequados para aumentar as propriedades mecânicas requeridas.

O presente artigo busca os parâmetros ideais de tratamento térmico para alcançar a microestrutura bimodal com uma quantidade de grãos de α de 30-50% apresentando grãos menores que 5 μm . Após, levantar a curva de tensão-deformação da liga tratada, caso os tratamentos térmicos não sejam bem-sucedidos e não alcancem a microestrutura esperada, será determinada a resistência de escoamento e o limite de resistência no estado recozido da liga Ti-6Al-4V ELI. Com o limite de resistência registrado, será determinada a carga necessária para realizar os ensaios de fadiga e, por fim, gerar relatórios e métodos com objetivo direto de extensão, auxiliando o projeto de novas próteses em um âmbito regional e nacional.

METODOLOGIA

Foram recebidas barras de Ti-6Al-4V ELI com diâmetro de 30 mm, em estado recozido. Através disso, cilindros de comprimento de 70 mm foram cortados para os ensaios de tração. Após seccionados, os corpos de prova (CPs) passaram pelo tratamento de solubilização e envelhecimento conforme Tabela 1. Os CPs que não obtiveram uma microestrutura homogênea foram recozidos visando retornar às propriedades mecânicas da liga em estado inicial. O tratamento térmico de recozimento também está registrado na Tabela 1.

Os tratamentos térmicos foram realizados em um forno Jung, as temperaturas foram controladas utilizando um termopar tipo K acoplado diretamente na amostra, os dados foram coletados em um aparelho de aquisição de dados Fieldlogger.

Tabela 1 – Tratamento Térmicos Realizados nas Barras

Tratamento Térmico	Método de Tratamento
Solubilização e Envelhecimento (Adachi, 1986)	965 °C durante 0,5 hora arrefecido em água gelada, 525 °C durante 4 horas e arrefecido em ar.
Recozimento (Properties and Processing Ti-6Al-4V, 1991)	730 °C durante 2 horas e resfriado a ar.

Os tratamentos térmicos foram realizados inicialmente em pequenas amostras. Após, foi tratado termicamente os CPs e retirado uma amostra. As amostras foram preparadas metalograficamente seguindo norma ASTM E3. Para a revelação dos grãos, foi utilizado o reagente oxálico para titânio.

O ensaio de tração foi realizado em cinco corpos de prova em estado recozido com geometria de tamanho pequena, conforme norma ASTM E8.

Os ensaios de fadiga para o presente artigo não foram realizados de maneira empírica devido à grande quantidade de horas-máquina. Considerando que o limite de endurance (tensão onde o corpo de prova não romperá mais) é alcançado nos 50 milhões de ciclos, os ensaios irão demorar um longo tempo. Entretanto, deve-se determinar a tensão aplicada no ensaio de fadiga, para isso foi utilizado um método de engenharia para determinar a carga necessária. Deve-se salientar que o método de engenharia indicado por Budynas e Nisbett (2011, pg. 283 – 314) pode ser usado apenas para materiais ferrosos e está sendo utilizado aqui apenas para determinar uma carga prévia para os ensaios empíricos. O método depende da tensão última do material e também fatores modificadores que irão alterar diretamente seu valor, como: condição de superfície; tamanho; carga; temperatura; confiabilidade; e efeitos variados (corrosão e tensão residual).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ambas as amostras são indicadas na Figura 1 e Figura 2 respectivamente. A microestrutura da amostra pequena (Figura 1) apresentou um aspecto bimodal e uma semelhança no tamanho e quantidade de grãos α presentes indicado por Wu et al. (2011). Já a microestrutura retirada do CP (figura 2) apresenta uma falta de homogeneidade de grãos α na matriz, que é característica padrão da microestrutura bimodal. Sua falta de homogeneidade é explicada pela grande quantidade de grãos α quando próximo da superfície da peça e a inexistência de grãos próximo do núcleo.

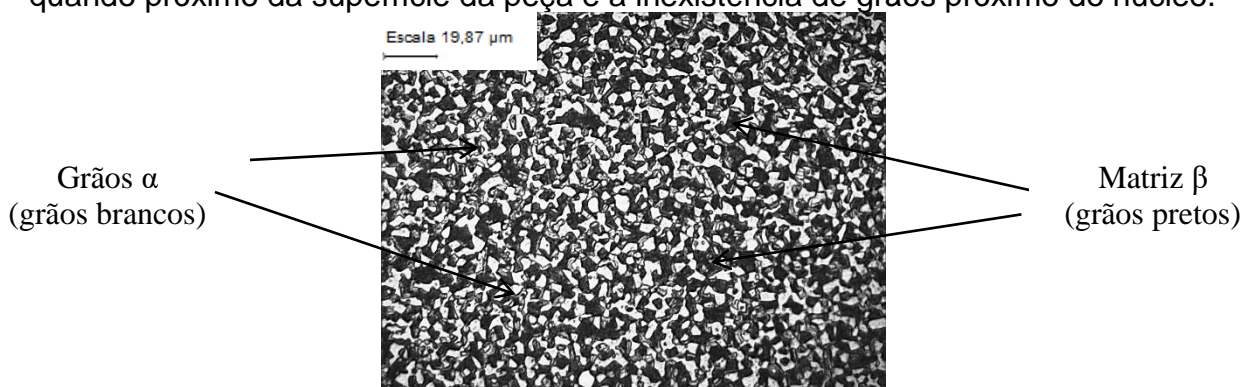


Figura 1 – Microestrutura Bimodal após Tratamento Térmico de Envelhecimento – 500x

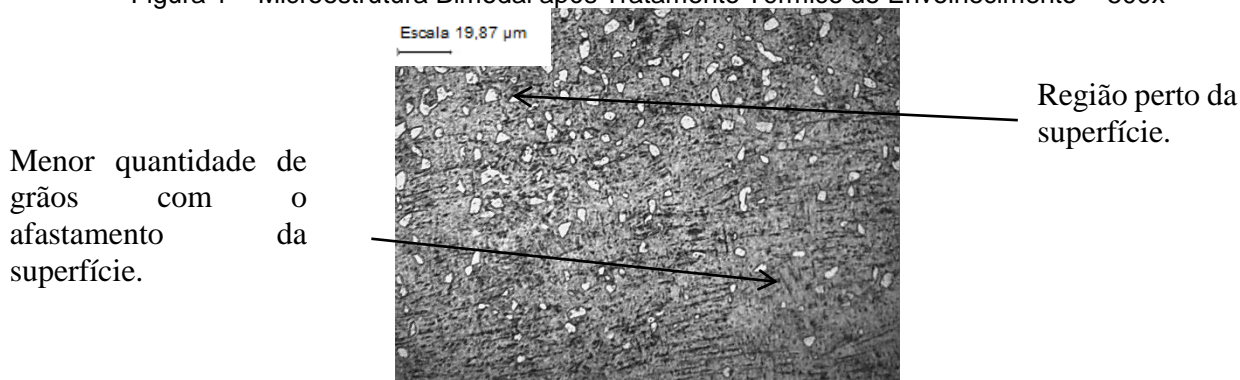


Figura 2 – Microestrutura bimodal da amostra do CDP após Tratamento Térmico de Envelhecimento – 500x.

A quantidade de grãos α na amostra pequena ficou em $43,2 \% \pm 0,1$, com a presença de grãos variando entre 2 a 6 μm , já a quantificação dos grãos α da amostra do CP não foi possível ser realizada devido à ausência de grãos.

Portanto, o tratamento térmico de envelhecimento não alcançou os parâmetros microestruturais desejados, dessa forma os ensaios de tração foram realizados apenas nos CPs em estado recozido, caracterizando sua curva. O Gráfico 1 e a Tabela 3 apresentam a curva de tensão deformação e suas propriedades mecânicas pertinentes.

Gráfico 1 – Tensão x Deformação da liga Ti-6Al-4V ELI recozido.

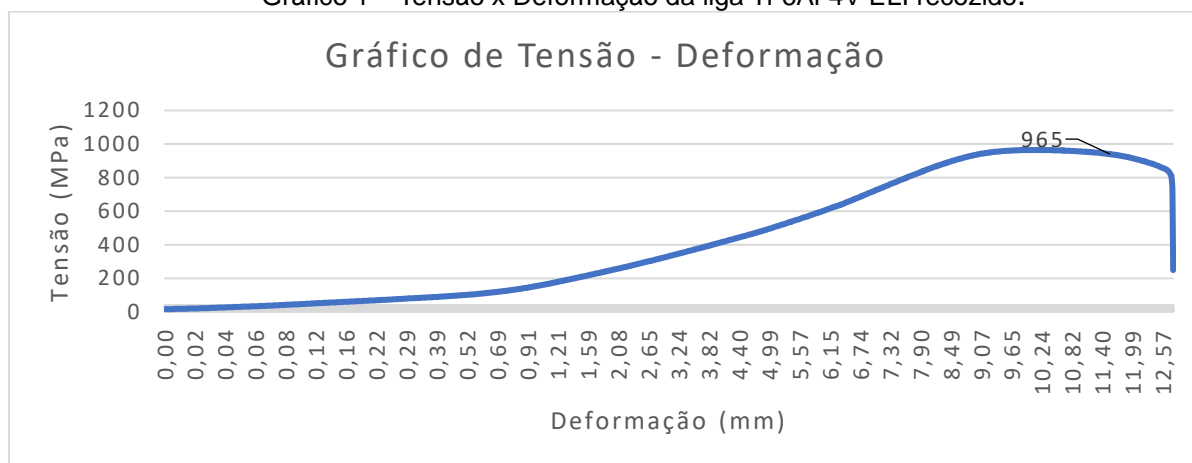


Tabela 3– Representação das propriedades mecânicas adquiridas com o ensaio de tração.

Ti-6Al-4V ELI	Tensão de Escoamento (Mpa)	Limite de Resistência (Mpa)	Alongamento (%)
Recozido	849,9 ± 7,36	930 ± 7,37	14,7 ± 2,84

Titanium Information Group, indica que a liga padrão Ti-6Al-4V suporta uma tensão de escoamento variando de 700 – 800 Mpa, portanto o tratamento de recozimento utilizado não apenas retornou a alta ductilidade inicial da liga, como aumentou suas propriedades mecânicas de resistência à tração.

Para encontrar o limite de endurance utiliza-se os fatores da Tabela 4 e a Equação 1

Tabela 4– Fatores modificadores do limite de endurance em ensaios de fadiga

Material usado	Tamanho do diâmetro	Flexão	Temperatura 35 °C	Confiabilidade de 99,9%	Fator de modificação
ka = 0,8808	kb = 1	kc = 1	kd = 1	ke = 0,753	kf = 1

$$Se = 950 * 0,5 * (0,8808 * 1 * 1 * 1 * 0,753 * 1 * 1) [MPa] \quad [1]$$

$$Se = 315,04 \text{ Mpa}$$

Volta-se a lembrar que tal tensão pode ser usada apenas para determinar a carga utilizada no ensaio empírico, não podendo ser utilizado em projetos como dado final.

Após achar a carga inicial utilizada, os ensaios empíricos já foram iniciados, entretanto é um processo demorado e os dados ainda estão sendo coletados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento térmico de solubilização e envelhecimento da liga Ti-6Al-4V ELI não foi bem-sucedido. Uma hipótese plausível, seria a diminuição β t devido a retirada de elementos de liga como o oxigênio e nitrogênio, diminuindo e mudando os parâmetros de tratamento térmico indicados pela literatura.

Porém, o tratamento térmico de recozimento apresentou maiores propriedades mecânicas que a apresentada pela literatura, com maior resistência ao escoamento e maior limite de resistência.

A determinação da carga foi realizada através de um método de engenharia, ideal para determinar a carga para os ensaios empíricos de fadiga, que já estão sendo realizados na liga Ti-6Al-4V ELI em estado recozido, assim o limite de endurance adquirido poderá ser utilizado em novos projetos e pesquisas da região.

REFERÊNCIAS

AKAHORI, Toshikazu; NIINOMI, Mitsuo. Fracture characteristics of fatigued Ti-6Al-4V ELI as an implant material. **Materials Science And Engineering: A**, [s.l.], v. 243, n. 1-2, p.237-243, mar. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0921-5093\(97\)00807-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0921-5093(97)00807-1).

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley**. AMGH Editora, 2009.

DIETER, George E.. Metalurgia Mecânica. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.a., 1981.

M.J. Donachie Jr., Titanium - A Technical Guide, Second edition, 2000.

PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL FATIGUE CONGRESS, 2., 1996, Berlin. **Fatigue '96**. Berlin: Pergamon, 1996. 1984 p.

Properties and Processing Ti-6Al-4V, *Timet*, April 1980.

SHAHMIR, Hamed; LANGDON, Terence G.. Using heat treatments, high-pressure torsion and post-deformation annealing to optimize the properties of Ti-6Al-4V alloys. **Acta Materialia**, [s.l.], v. 141, p.419-426, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2017.09.018>.

TITANIUM INFORMATION GROUP, **Titanium Alloys - Ti6Al4V Grade 5**. Disponível em: <<https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1547>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

VENKATESH, B.d.; CHEN, D.I.; Bhole, S.d.. Effect of heat treatment on mechanical properties of Ti-6Al-4V ELI alloy. **Materials Science And Engineering: A**, [s.l.], v. 506, n. 1-2, p.117-124, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2008.11.018>.

WU, G.q. et al. Effect of microstructure on the fatigue properties of Ti-6Al-4V titanium alloys. **Materials & Design**, [s.l.], v. 46, p.668-674, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.10.059>.